Journal of Horticultural Science
Vol. 35, No.4, Winter 2022, P. 591-604
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۶۰۴-۵۹۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز بر رشد گیاه همیشه بهار تحت تنش شوری

محدثه شمس الدین سعید[1]*- محمود رمرودی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶

چکیده

بیوچار به عنوان منبع کربن آلی و اصلاح کننده خاک، در کشاورزی مورد توجه است و خصوصیات آن تحت تاثیر دمای پیرولیز قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر جهت تهیه بیوچار، مخلوط کود گاوی و گوسفندی به مدت چهار ساعت در دما ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، پیرولیز شد. سپس با هدف ارزیابی تاثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز (صفر، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) بر رشد گیاه همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه مرکز آموزش عالی کشاورزی بردسیر-کرمان، در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. با افزایش دمای پیرولیز به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، اسیدیته و هدایت الکتریکی بیوچار به‌ترتیب ۱۶/۲۹ و ۶۰/۳۷ درصد افزایش و عملکرد بیوچار (۵۲/۲۸ درصد) و چگالی ظاهری (۴۸/۱۰ درصد) آن کاهش یافت. محتوای خاکستر نیز ۱/۵ برابر شد. همچنین با افزایش شوری ارتفاع ساقه، تعداد و سطح برگ کاهش یافت. در تنش ۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر و دمای پیرولیز ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان پتاسیم و پرولین برگ افزایش یافت. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز در تیمار بیوچار دمای ۶۰۰ درجه و تنش ۸ و ۴ دسی‌زیمنس برمتر مشاهده شد. درمجموع، شوری بیوچار مهمترین خصوصیات نامطلوب آن می‌باشد که با افزایش دمای پیرولیز این ویژگی منفی شدت می‌یابد، لذا توصیه برای استفاده از بیوچار در خاک‌های شور نیازمند به مطالعات بیشتری می‌باشد. در پژوهش حاضر استفاده از بیوچار در شرایط تنش شوری تاثیر مثبت قابل ملاحظه‌ای در ایجاد مقاومت در گیاه همیشه بهار و تحمل تنش شوری نداشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، پتاسیم، چگالی ظاهری، هدایت الکتریکی

مقدمه

ایران کشوری با اقلیم خشک و گرم می‌باشد که بیش از نیمی از زمین‌های قابل کشت در آن از نوع خاک‌های شور و سدیمی است (۴۰). شوری یکی از مهمترین تنش‌های غیر زیستی در کشاورزی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می‌باشد که اثرات منفی شدیدی بر رشد و تولید محصول بر گیاهان (۴) از جمله گندم (۲۴) و گیاه همیشه بهار دارد (۲۲). در بررسی پاسخ گیاه همیشه بهار به تنش شوری، نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری شاخص‌های رشدی و عملکردی از جمله سطح و تعداد برگ، ارتفاع ساقه و تعداد گل به طور معنی‌داری کاهش یافتند (۲۲). خاک‌هایی که تحت تاثیر شوری قرار می‌گیرند به دلیل کمبود ماده آلی ساختمان ضعیفی دارند و افزودن ماده آلی می‌تواند سبب بهبود پایداری خاک شود (۹).

از جمله اهداف اصلی نظام‌های زراعی افزایش تولید در واحد سطح، کاهش هزینه‌های تولید و کارایی مصرف بالاتر نهاده بدون آسیب زدن به محیط زیست، آب و خاک و نیز حفظ کیفیت محصول می‌باشد (۳۲). در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب موجب کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه فقر ماده آلی خاک می‌گردد (۹). به همین دلیل تأمین نیاز غذایی گیاه از طریق مصرف کودهای شیمیایی و دامی و بازگرداندن بقایای آلی به خاک، جهت افزایش تولید، انکار ناپذیر است (۳۰). تجزیه کودهای حیوانی اغلب منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای از جمله متان و اکسیدهای نیتروژن شده که پتانسیل آن‌ها در تغییر اقلیم به

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی، مرکز آموزش عالی کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*- نویسنده مسئول: Email: Mohadesehsaid2014@uk.ac.ir)
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
DOI: 10.22067/JHS.2021.67776.1005

ترتیب ۲۵ و ۲۹۸ بار بیشتر از دی‌اکسیدکربن است (۱۲). بعلاوه، از آنجا که کود گاوی دارای مقدار زیادی از شکل‌های قابل دسترس نیتروژن و فسفر می‌باشد، بنابراین کاربرد آن در خاک می‌تواند سبب افزایش خطر آبشویی عمقی و خروج این عناصر به صورت رواناب از انتهای مزرعه و در نتیجه آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شود. کاربرد و مصرف کودهای دامی به علت وجود پاتوژن‌ها، تصاعد متان و ایجاد بوی نامطبوع، آلودگی‌های زیست محیطی را به دنبال دارد (۷).

در سال‌های اخیر از بیوچار (زغال زیستی) به عنوان اصلاح کننده خاک (منبع کربن آلی) و به نوعی روشی برای ترسیب کربن در خاک‌های کشاورزی استفاده می‌شود. بیوچار، زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی مانند کاه گندم، ذرت، سبوس برنج و تفاله نیشکر است که طی فرآیند ترموشیمیایی پیرولیز تولید می‌شود. این فرآیند، سوختن آرام مواد آلی در شرایط کمبود اکسیژن یا نبود آن، است (۱۳). با تبدیل ضایعات کشاورزی و حیوانی به بیوچار در واقع نه تنها انرژی آزاد شده، بلکه حجم و وزن مواد زائد و اثرات نامطلوب شیرابه نیز تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد (۲۹). دما از متغیرهای اصلی در تهیه بیوچار است که خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و پایداری آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲۷). در همین راستا، زیمرمن و همکاران (۵۱) پایداری بیوچار تولید شده در دماهای ۴۵۰ و ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد را در چهار خاک مختلف مورد بررسی و گزارش دادند که پس از گذشت یکسال تنها ۳/۷۱-۰/۳ درصد کربن بیوچار معدنی می‌شود و با افزایش دمای پیرولیز، پایداری کربن بیوچار افزایش می‌یابد. بیوچار یک ماده اصلاح کننده مفید برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است که نقش مؤثری در حفظ ماده آلی خاک، افزایش بهره‌وری کود استفاده شده و افزایش تولید محصول به ویژه برای خاک‌های مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری که طولانی مدت کشت شده‌اند، دارد (۴۹). واکاری و همکاران (۴۸) با کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از چوب جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ درصد افزایش در عملکرد گندم را گزارش کردند. همچنین اینال و همکاران (۱۹) نیز بیان داشتند بیوچار و کود مرغی سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک و افزایش رشد لوبیا و ذرت گردید. اوزوما و همکاران (۴۷) نشان دادند کاربرد ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از کود گاوی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به خاک شنی، افزایش رشد و عملکرد ذرت را در پی داشت. تاثیر مثبت استفاده از بیوچار در بهبود رشد و عملکرد سویا (۲۸ و ۴۴) و کاهو (۱۴) نیز گزارش شده است.

همیشه بهار (*Calendula officinalis*) گیاهی یک ساله و بندرت دو ساله است که منشأ آن نواحی مدیترانه می‌باشد (۳۸) این گیاه علاوه بر مصارف خوراکی (طعم دهنده و رنگ دهنده غذا) دارای مواد مؤثره و ترکیباتی است که در صنعت (تهیه رنگ‌های نقاشی و نایلون صنعتی) و داروسازی نیز کاربرد دارد (۲۳). اگرچه در تعدادی از آزمایشات تاثیر تنش‌های زیستی بر گیاه همیشه بهار بررسی شده است، اما تاثیر تنش شوری همزمان با کاربرد بیوچار به عنوان اصلاح کننده خاک، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین با توجه به کاهش روز افزون کیفیت منابع آب و خاک در کشور، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر کاربرد بیوچار کود دامی بر رشد گیاه همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری به اجرا درآمد. همچنین به علت تاثیر دما بر خصوصیات بیوچار، در این پژوهش تاثیر دماهای مختلف پیرولیز بر خصوصیات بیوچار کود گاوی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه بیوچار و اندازه‌گیری برخی از خصوصیات آن

جهت تهیه بیوچار با نسبت مساوی از مخلوط کود گاوی و کود گوسفندی، پس از جمع‌آوری از مزارع و دامداری‌های منطقه بردسیر به مدت چند روز نگهداری و در هوای آزاد خشک گردید و پس از عبور از الک دو میلی‌متری بعد از ساییدن، در ورقه‌های آلومینیومی بسته بندی و به مدت چهار ساعت در دماهای (۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) در داخل کوره الکتریکی قرار داده شدند تا فرایند گرماکافت انجام شود. سپس برخی از خصوصیات بیوچار تولید شده با استفاده از روش‌های ذیل اندازه‌گیری شدند. میزان pH کود دامی خام ۸/۳ و هدایت الکتریکی کود دامی خام ۲/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود.

جهت اندازه‌گیری اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC)، بیوچار کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر با آب مقطر با نسبت ۱:۵ (آب/ بیوچار) برای ۲۴ ساعت شیک و سپس مقدار pH با دستگاه pH متر، اندازه‌گیری و قابلیت هدایت الکتریکی نیز با هدایت‌سنج اندازه‌گیری گردید و نتایج برحسب دسی‌زیمنس بر متر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (۱۶). به منظور محاسبه عملکرد بیوچار، با استفاده از وزن بیوچار تولید شده در واحد وزن خشک ماده اولیه (کود دامی خام)، از معادله زیر استفاده گردید (۴۳):

$$\text{عملکرد بیوچار } (\%) = \frac{\text{وزن بیوچار}(g)}{\text{وزن خشک آون ماده آلی خام}(g)} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

جهت اندازه‌گیری چگالی ظاهری بیوچار، میزان ۵۰ گرم از بیوچار داخل استوانه مدرج ۱۰۰ میلی‌متری ریخته و به مدت یک دقیقه در دستگاه شیکر قرار داده شد تا بیوچار در حجم مشخصی ثابت شود. سپس وزن استوانه حاوی بیوچار اندازه‌گیری و در نهایت چگالی ظاهری بیوچار بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب از طریق معادله زیر محاسبه شد (۴۳).

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن بیوچار}(g)}{\text{وزن بیوچار داخل سیلندر}(cm3)} \times 100 \quad \text{معادله (۲)}$$

محتوای خاکستر نیز به این طریق اندازه‌گیری شد که ۵ گرم نمونه خشک داخل بوته چینی ریخته و به مدت ۸ ساعت در دمای

۵۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و در محیط با اکسیژن کافی قرار داده شد. بعد از این مدت، بوته داخل دسیکاتور در دمای اتاق قرار گرفت تا سرد شد و مجددا توزین و محتوای خاکستر از معادله زیر محاسبه گردید (۴۳).

معادله (۳) $$\text{محتوای خاکستر (\%)} = \frac{\text{وزن خاکستر (g)}}{\text{وزن خشک بیوچار (g)}} \times 100$$

پایداری کربن بیوچار در برابر معدنی شدن با استفاده از روش اکسید شدن با دیکرومات مورد بررسی قرار گرفت. کربن ناپایدار از طریق معادله ۴ محاسبه گردید که در آن v_0: حجم سولفات آهن مصرفی برای تیتر شاهد (میلی‌لیتر)، V: حجم سولفات آهن مصرفی برای تیتر نمونه بیوچار، و C: مولاریته محلول استاندارد سولفات آهن می‌باشد. کربن آلی پایدار بیوچار از تفاوت بین کربن آلی کل و کربن آلی ناپایدار به دست آمد (۴۳).

معادله (۴) $(V_0 - V) \times C \times 7.5$ = کربن ناپایدار (گرم بر کیلوگرم) وزن خشک بیوچار

ارزیابی تاثیر بیوچار تولیدی بر رشد گیاه همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری

به منظور ارزیابی تاثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز بر تحمل به شوری گیاه همیشه بهار، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه مرکز آموزش عالی کشاورزی بردسیر- کرمان در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح شوری حاصل از نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم با نسبت ۱:۲ (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز (صفر، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) بود. بذور گیاه همیشه سبز رقم کم پر نارنجی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. قبل از کاشت ابتدا بذور گیاه همیشه بهار به وسیله الکل ۱۰ درصد به مدت ۱ دقیقه و سپس در محلول هیپوکلرید سدیم ۵ درصد به مدت ۵ دقیقه، ضدعفونی سطحی و چند مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. در گلدان‌های هفت کیلوگرمی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر حاوی بیوچار، تعداد پنج بذر همیشه بهار در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری کشت شد. میزان بیوچار برای هر گلدان ۵ درصد وزنی خاک در نظر گرفته شد و مقدار مورد نظر با ترازوی دقیق وزن گردید و با خاک گلدان به خوبی مخلوط شد و خاک هر گلدان روی لایه زهکش قرار گرفت. قبل از کاشت، تیمار آبیاری با آب شور بر حسب تیمار مورد نظر، در هر گلدان اعمال شد. برای تهیه محلول‌های شوری، از نمک کلرید سدیم با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد از شرکت مرک آلمان استفاده گردید و محلول‌هایی با هدایت الکتریکی ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تهیه گردید. قبل از کاشت بذر، در طی سه نوبت هر سه روز یکبار محلول‌های شور به خاک اضافه گردید و برای جلوگیری از تجمع نمک در خاک مقدار محلول شوری به میزانی به خاک اضافه شد که مقدار یک سوم آب از طریق زهکش گلدان خارج شود. میزان شوری خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. بعد از کاشت بذور، در آبیاری‌های بعدی، آب شهر در حد ظرفیت زراعی به گلدان‌ها اضافه گردید و برای هر گلدان از زیر گلدانی استفاده شد تا در صورت خروج آب از زهکش به هر دلیلی، امکان برگشت آب زهکش به خاک گلدان و ممانعت از شسته شدن خاک امکان‌پذیر باشد.

جهت ارزیابی برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار، یک ماه بعد از استقرار بوته‌ها، تقریبا ۴۵ روز بعد از کاشت نمونه‌برداری صورت گرفت. برخی ویژگی‌های رشدی گیاه از جمله ارتفاع ساقه، تعداد برگ و سطح برگ (توسط دستگاه سنجش سطح برگ (Leaf Area Measure System Delta T, WD3, UK)) نیز اندازه‌گیری شد. میزان پرولین برگ با استفاده از روش بیتس و همکاران (۳) و در طول موج ۵۲۰ نانومتر و مقدار پروتئین کل از طریق روش برادفورد (۶) با معرف بیوره و در طول موج ۵۹۵ اندازه‌گیری شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از محاسبه کاهش جذب آب اکسیژنه در ۲۴۰ نانومترانجام شد. فعالیت آنزیم به صورت واحد آنزیمی برحسب پروتئین کل (میلی‌گرم) موجود در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره در یک دقیقه محاسبه گردید (۶). یک واحد آنزیمی کاتالاز مقدار آنزیمی است که ۱ میلی‌مول آب اکسیژنه را در یک دقیقه تجزیه می‌کند. سنجش فعالیت آنزیم گایاکل پراکسیداز با استفاده از گایاکل و اندازه‌گیری میزان جذب گایاکل (حاصل اکسیداسیون گایاکل) درطول موج ۴۷۰ نانومتر انجام گرفت (۶). فعالیت آنزیم بر حسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل (میلی‌گرم) موجود در ۲۰ میکرولیتر عصاره گزارش شد. ارزیابی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با روش ناکانو و آساد (۳۵) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر انجام شد. برای استخراج این آنزیم از بافر فسفات ۲۵ میلی‌مولار با PH ۷ شامل EDTA ۰/۱ میلی‌مولار استفاده گردید. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS. 16.0 و مقایسه میانگین داده‌ها بر حسب آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات بیوچار

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) بیوچار مخلوط کود گاوی و گوسفندی بطور معنی‌داری تحت تاثیر دمای پیرولیز قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکوشیمیایی بیوچار کود دامی در دمای مختلف پیرولیز

Table 1- ANOVA of physicochemical characteristics of cattle manure biochar in different Pyrolysis temperatures

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	Mean of squares میانگین مربعات					
		اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	پایداری کربن Carbon Stability	عملکرد بیوچار Biochar performance	خاکستر Ash	چگالی ظاهری Apparent density
دمای پیرولیز Pyrolysis temperature	3	1.02**	26.74**	218.49**	1652.78**	372.22**	0.087 ns
خطا Error	8	0.075	1.51	6.53	25.84	6.00	0.037
ضریب تغییرات CV (%)		1.7	5.5	8	11	4.8	37

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns : غیر معنی‌دار

**: Significant at 1% of probability level, *: Significant at 5% of probability level, ns: non-significant

در بیوچار کود دامی دامنه pH بین ۸/۵ تا ۹/۹ بود و با افزایش دمای فرایند پیرولیز به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد میزان pH بیوچار، ۱۶/۲۹ درصد نسبت به دمای ۳۰۰ درجه، افزایش یافت (جدول ۲). در همین راستا، افزایش pH بیوچار کود گاوی با افزایش دمای فرایند پیرولیز از ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد توسط بهشتی و همکاران (۵) نیز گزارش شده است که دلیل آن را افزایش مقادیر عناصر پتاسیم، فسفر، کلسیم، سدیم و منیزیم در بیوچار کود گاوی بیان کردند. همچنین سانگ و گیو (۴۳) در بررسی کود مرغی به نتایج مشابهی دست یافتند. افراسیابی و همکاران (۱) نیز در بررسی بیوچارهای تولیدی از تفاله‌های پسته در دماهای پیرولیز ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند با افزایش دمای پیرولیز، pH بیوچار افزایش یافت. این محققین بیان داشتند با افزایش دمای پیرولیز نیتروژن آلی در دماهای پایین به صورت گروه‌های عاملی آمینی وجود دارد و افزایش سطوح بازی به طور کامل به ترکیبات پیریدین، تغییر شکل می‌دهند و این تغییرات سبب کاهش نیتروژن موجود در ساختار بیوچار و افزایش pH می‌شود. چن و همکاران (۸) یکی از دلایل قلیایی شدن بیوچار را کاهش مقدار گروه‌های عامل اسیدی با افزایش دما، بیان کردند. شینوگی و کانری (۴۱) نیز گزارش کردند در دماهای بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، کربن موجود در مواد آلی تبدیل به خاکستر شده و نمک‌های قلیایی از ساختار آلی آن‌ها جدا شده و همین موضوع باعث افزایش pH می‌گردد. بنابراین در کاربرد بیوچار به عنوان ماده آلی اصلاح کننده خاک باید در نظر داشت اگر خاک زراعی منطقه دارای ماهیت اسیدی می‌باشد استفاده از بیوچاری که در دماهای بالای پیرولیز تولید شده باشد، با توجه به pH بالاتر در اصلاح اسیدیته خاک می‌تواند موثر واقع شود.

جدول ۲- تاثیر دماهای مختلف پیرولیز بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بیوچار کود دامی

Table 2- The effect of different pyrolysis temperatures on the physicochemical properties of cattle manure biochar

دما Temperature (°C)	اسیدیته pH (1:5)	هدایت الکتریکی EC(dS/m) (1:5)	عملکرد بیوچار Biochar performance (%)	خاکستر Ash (%)	چگالی ظاهری Apparent density ($g.cm^{-3}$)
300	8.53c	10.91c	78.44a	48.00d	0.79a
400	9.28b	15.01b	69.33ab	60.33c	0.65ab
500	9.49b	16.97ab	61.00b	66.67b	0.49ab
600	9.92a	17.48a	23.17c	74.33a	0.41b

در هر ستون، حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست.

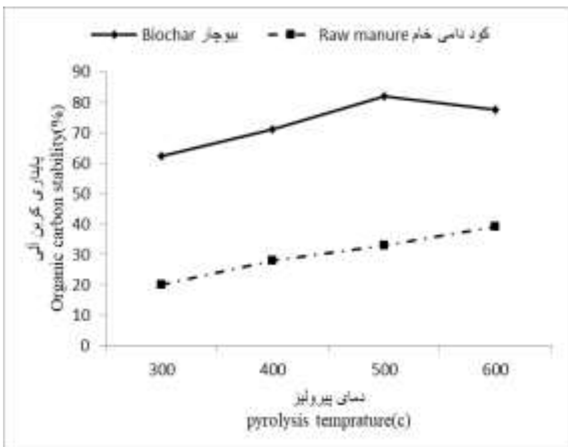
Means in each column following the same letters do not differ significantly at $P \leq 0.05$ by Duncan’s multiple range test.

در بین تیمارهای دمایی مختلف پیرولیز مقدار EC بیوچار مخلوط کود گاوی و گوسفندی بین ۱۰/۹ تا ۱۷/۴۸ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود که با افزایش دمای فرایند پیرولیز از صفر به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی بیوچار ۱/۶ برابر افزایش یافت (جدول ۲). این افزایش در EC بیوچار می‌تواند ناشی از دست دادن مواد فرار و افزایش غلظت عناصر در خاکستر بیوچار باشد. در همین راستا، بهشتی و همکاران (۵) افزایش EC بیوچار کود گاوی را در دمای پیرولیز ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۸/۷ دسی‌زیمنس گزارش

نمودند. مشابه نتایج پژوهش حاضر، افراسیابی و همکاران (۱) نیز در بررسی بیوچارهای تولیدی از تفاله‌های پسته در دماهای پیرولیز ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد گزارش دادند با افزایش دمای پیرولیز هدایت الکتریکی بیوچار تولیدی، افزایش یافت و علت آن را افزایش غلظت عناصر در بیوچار تولیدی در اثر افزایش دما بیان کردند. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر مشخص گردید عملکرد بیوچار مخلوط کود گاوی و گوسفندی بطور معنی‌داری تحت تاثیر دمای پیرولیز قرار گرفت (جدول ۱). به طوری‌که عملکرد بیوچار مخلوط کود گاوی و گوسفندی با افزایش دمای پیرولیز به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، به شدت کاهش یافت (جدول ۲). عملکرد بیوچار در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد حدود ۷۵/۴۴ درصد و در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۲۳/۱۶ درصد بود. به عبارتی، با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ درجه به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد بیوچار به میزان ۵۲/۲۸ درصد افت پیدا کرد (جدول ۲). با افزایش دمای پیرولیز مواد فرار پیرولیتیکی به مولکول‌های آلی با وزن کم و گاز تبدیل شده و بنابراین کاهش شدید عملکرد بیوچار در دماهای بالاتر پیرولیز مشاهده می‌شود (۴۵).

محتوای خاکستر در بیوچار مخلوط کود گاوی و گوسفندی نیز بطور معنی‌داری تحت تاثیر دمای پیرولیز قرار گرفت (جدول ۱). اما نتایج خاکستر بیوچار روندی معکوس با عملکرد بیوچار نشان دادند (جدول ۲). به عبارتی، با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان خاکستر بیوچار ۱/۵ برابر شد. علت این افزایش می‌تواند مربوط به کاهش محتوای کربن آلی، افزایش غلظت مواد معدنی و تجزیه مواد لیگنوسلولزی در طی فرایند پیرولیز باشد (۴۶). خادم و همکاران (۲۵) گزارش کردند بیوچار به جز بخش کربنی پایدار، حاوی مقدار زیادی خاکستر نیز می‌باشد که حاوی نمک‌های معدنی است و در کوتاه مدت می‌تواند به تغذیه گیاه کمک نماید. میزان خاکستر موجود در بیوچار تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد که از جمله این موارد می‌توان به نوع مواد اولیه و دمای پیرولیز اشاره کرد. مشابه نتایج پژوهش حاضر، نتایج مطالعات متعددی حاکی از آن است که با افزایش دمای پیرولیز بر میزان خاکستر آن افزوده می‌شود (۱۰، ۱۱ و ۵۰).

چگالی ظاهری یکی از خصوصیات فیزیکی مهم بیوچار می‌باشد. در پژوهش حاضر چگالی ظاهری بیوچار بطور معنی‌داری تحت تاثیر دمای پیرولیز قرار گرفت (جدول ۱). به طوری‌که دامنه چگالی ظاهری بیوچار مخلوط کود گاوی و گوسفندی بین ۰/۴۰ تا ۰/۷۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر بود. کمترین و بیشترین میزان چگالی ظاهری به‌ترتیب به بیوچار تولید شده تحت دمای ۶۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تعلق داشت. به عبارت دیگر، با افزایش دمای پیرولیز چگالی ظاهری بیوچار تقریبا به نصف کاهش یافت (جدول ۲). چگالی ظاهری بیوچار به ماهیت ماده اولیه و فرآیند پیرولیز بستگی دارد (۱۸). در همین راستا، بهشتی و همکاران (۵) نیز با بررسی بیوچار تا دمای ۷۰۰ درجه به نتایج مشابه پژوهش حاضر دست یافتند. چگالی ظاهری خاک مزرعه حدود ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد، با توجه به پایین‌تر بودن چگالی ظاهری بیوچار در مقایسه با خاک، می‌توان از آن جهت اصلاح خاک استفاده نمود. نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر بیانگر این بود که بخش مقاوم کربن آلی بیوچار مخلوط کود گاوی و گوسفندی که در برابر اکسیداسیون توسط دی‌کرومات اسیدی مقاوم می‌باشد، با افزایش درجه حرارت در طی فرایند پیرولیز، افزایش نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱- پایداری کربن بیوچار کود دامی در دماهای مختلف پیرولیز

Figure 1- Carbon stability of cattle manure biochar under different pyrolysis temperatures

بیشترین میزان کربن پایدار در دمای ۵۰۰ درجه در طی فرایند پیرولیز مشاهده شد که نسبت به تیمار ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، حدود ۲۰ درصد پایداری کربن آلی آن بیشتر بود (شکل ۱). در این زمینه نتایج مشابهی توسط سایر محققین در بررسی بیوچار کود مرغی، کود

دامی، بیوچار چوب و برگ درخت اکالیپتوس گزارش شده است (۵، ۴۲ و ۴۳). همچنین خادم و همکاران (۲۵) پایداری کربن بیوچار تولید شده در دماهای ۴۵۰ و ۵۵۰ درجه را در چهار خاک مختلف مورد بررسی و گزارش دادند با افزایش دمای پیرولیز، پایداری کربن بیوچار افزایش می‌یابد. این محققین پایداری بیشتر کربن تولید شده در دماهای بالاتر را به درصد نسبی کربن الکیل و آروماتیک، میزان تراکم کربن آروماتیک، نوع مواد اولیه مورد استفاده برای تولید بیوچار و کاهش بخش ناپایدار کربن نسبت دادند. با توجه به اینکه پایداری کربن بیوچار در مقابل معدنی شدن نسبت به کودهای حیوانی و بقایای گیاهی بسیار بالاتر می‌باشد، لذا استفاده از بیوچار می‌تواند گزینه مناسب جهت ترسیب کربن خاک و کاهش گازهای گلخانه‌ای باشد.

پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش نشان داد که ارتفاع ساقه، تعداد برگ و سطح برگ گیاه همیشه بهار، تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۳). در رابطه با ارتفاع ساقه با افزایش تنش شوری به سطح ۴ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری در ارتفاع ساقه مشاهده گردید و با افزایش شدت تنش، اثر منفی تنش شوری بر این پارامتر، شدت یافت. به گونه‌ای که با افزایش تنش شوری به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، ارتفاع ساقه نسبت به تیمار شاهد حدود ۳۱/۰۹ درصد کاهش یافت (جدول ۴). مشابه نتایج بدست آمده از این پژوهش، کازمینزسکا و همکاران (۲۶) و بیات و همکاران (۴) نیز تاثیر منفی تنش شوری بر ارتفاع ساقه و وزن‌تر گیاه همیشه بهار را گزارش نمودند. ذخیره انرژی متابولیکی ممکن است اساس کاهش رشد گیاه در شرایط شور باشد. در این شرایط انرژی لازم برای تنظیم یونی و اسمزی زیادتر شده و انرژی رشد کاهش می‌یابد. بعلاوه، تنش شوری با تاثیر بر رطوبت قابل دسترس خاک، اختلال در جذب آب بوسیله گیاه، عدم تعادل یونی و در دسترس بودن مواد غذایی باعث کاهش فعالیت مریستمی و طویل شدن سلولی می‌شود (۲۴ و ۲۱).

در این پژوهش تعداد برگ گیاه همیشه بهار نسبت به ارتفاع ساقه این گیاه، به شوری مقاومت بالاتری نشان داد و تنها با افزایش تنش شوری به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش یافت (جدول ۴). تعداد برگ در بالاترین سطح تنش شوری نسبت به تیمار شاهد، به میزان ۱۷/۲۸ درصد کاهش یافت (جدول ۴). در همین راستا، جبار زاده و همکاران (۲۰) نیز گزارش کردند با افزایش شدت تنش شوری، سطح برگ و تعداد برگ همیشه بهار کاهش یافت. تعداد برگ پارامتری است که بیشتر تحت تاثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد و تنها در شدت‌های بالای تنش، تغییر در تعداد برگ مشاهده می‌گردد. بر اساس نتایج این پژوهش سطح برگ با افزایش تنش شوری به ۴ دسی‌زیمنس بر متر بطور معنی‌داری کاهش نشان داد و با افزایش شدت تنش روند ثابتی نشان داد (جدول ۴). با افزایش تنش شوری به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر سطح برگ نسبت به تیمار شاهد ۴۵/۷ درصد کاهش یافت. مشابه نتایج پژوهش حاضر، کلهر و همکاران (۲۲) نیز بیان داشتند تحت تاثیر تنش شوری تعداد برگ و سطح برگ گیاه همیشه بهار کاهش یافت. کاهش سطح برگ در اثر تنش شوری یا در نتیجه کاهش در تعداد برگ به علت ریزش آن‌ها به واسطه سمیت یونی می‌باشد و یا به علت کاهش اندازه برگ در اثر کاهش فشار تورژسانس، دهیدراته شدن سلولی و کاهش توسعه برگ و همچنین نکروز شدن برگ‌ها می باشد (۲۱، ۳۰ و ۳۳).

در پژوهش حاضر نتایج تجزیه واریانس حاکی از تاثیر معنی‌دار شوری، دمای پیرولیز بیوچار و برهمکنش آن‌ها بر غلظت پتاسیم در برگ گیاه همیشه بهار بود (جدول ۳). در کلیه تیمارهای تنش شوری، با افزایش دمای پیرولیز میزان پتاسیم برگ افزایش یافت. به گونه‌ای که در تیمارهای ۰، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش دمای پیرولیز به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲/۲، ۲/۰۴، ۱/۹۷ و ۱/۹۲ برابر افزایش در غلظت پتاسیم برگ نسبت به تیمار شاهد آزمایش مشاهده گردید (شکل ۲).

با افزایش دمای پیرولیز غلظت عناصر آزاد شده افزایش پیدا می‌کند و دسترسی آن‌ها برای گیاه راحت‌تر خواهد بود. لذا گیاه علی‌رغم افزایش تنش شوری توانسته است به میزان قابل توجهی عنصر پتاسیم را جذب نماید. به طور مشابه نجفی قیری (۳۴) گزارش داد افزودن بیوچار سبب افزایش ۴/۴ تا ۷ برابری مقدار پتاسیم محلول گردید و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پتاسیم محلول موجود در بیوچار و پتاسیم محلول خاک تیمار شده با بیوچار وجود داشت. نتایج هافلی و همکاران (۱۵) در مورد تاثیراتی که کاربرد بیوچار ناشی از بقایای برنج بر عناصر قلیایی خاک دارد نشان داد که بیوچار سبب افزایش قابلیت استفاده از پتاسیم گردید. سایر محققین نیز اثرات مثبت بیوچار را بر افزایش قابلیت دسترسی پتاسیم خاک برای گیاه را گزارش نمودند (۳۱، ۳۷ و ۵۲).

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش مشخص گردید میزان پرولین و پروتئین برگ گیاه همیشه بهار بطور معنی‌داری تحت تاثیر شوری و دمای پیرولیز بیوچار و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). میزان پرولین برگ با افزایش دمای پیرولیز در کلیه تیمارهای تنش شوری افزایش یافت (شکل ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار تحت تنش شوری و بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز

Table 3- ANOVA for morpho-physiological traits of marigold under salt stress conditions and biochar resulting from different pyrolysis temperatures

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		ارتفاع ساقه Stem height	تعداد برگ Number of leaves	سطح برگ Leaf area	پتاسیم Potassium	پرولین Proline	کاتالاز Catalase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	گایاکول پراکسیداز Guaiacol peroxidase	پروتئین Protein
شوری Salt	3	32.88**	2.328*	1507.51**	43.09**	171.79**	4.8E-10**	0.0004**	7.488E-10ns	**2172.13****
دمای پیرولیز Pyrolysis temperature	4	0.739ns	1.767ns	11.77**	1998.93**	476.48**	1.6E-8**	0.0002**	1.501E-9*	**5370.68****
شوری×دمای پیرولیز Salt × Pyrolysis temperature	12	0.623ns	0.356ns	9.94ns	2.71**	51.02**	1.22E-9**	0.0001**	4.798E-10**	**978.72****
خطا Error	40	4.724	0.817	67.52	0.031	0.173	9.38E-10	3.22E-10	4.334E-9*	**0.10**

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns : غیر معنی‌دار

**: Significant at 1% of probability level, *: Significant at 5% of probability level, ns: non-significant

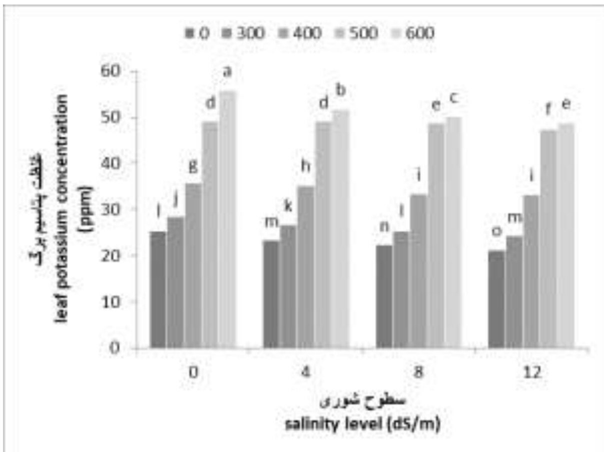
جدول ۴- تاثیر تنش شوری بر صفات ارتفاع ساقه، تعداد برگ و سطح برگ گیاه همیشه بهار

Table 4- The effect of salinity stress on stem height, leaf number and leaf area of marigold

شوری Salt ($dS.m^{-1}$)	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	تعداد برگ Number of leaves	سطح برگ Leaf area (cm^2)
0	11.21a	5.40a	48.26a
4	9.52b	5.13ab	29.78b
8	8.67bc	5.07ab	29.52b
12	7.73c	4.47b	26.17b

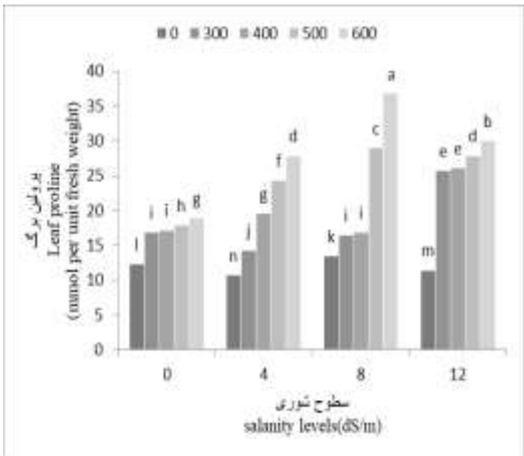
در هر ستون، حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست.

Means in each column following the same letters do not differ significantly at $P \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.



شکل ۲- تاثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز بر غلظت پتاسیم برگ گل همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری

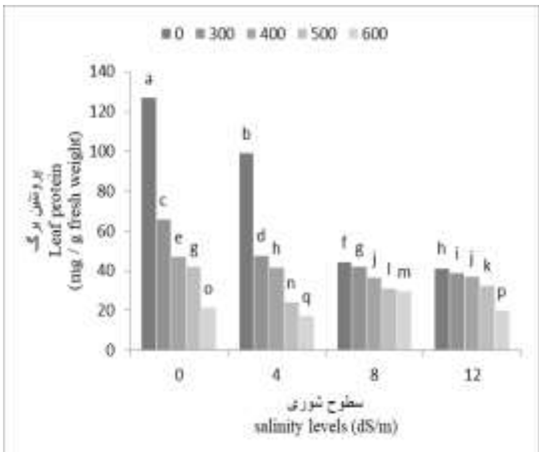
Figure 2- The effect of biochar resulting from different pyrolysis temperatures on the leaf potassium concentration of marigold leaf under salt stress conditions (DMRT, $p \leq 0.05$).



شکل ۳- تاثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز بر میزان پرولین برگ گل همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری

Figure 3- The effect of biochar resulting from different pyrolysis temperatures on the proline content of marigold leaf under salt stress conditions (DMRT,$p\leq 0.05$).

بطوری‌که در دمای پیرولیز ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در تیمارهای تنش شوری ۰، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب میزان پرولین برگ ۱/۵۴، ۲/۲۶، ۳/۰۰ و ۲/۴۵ برابر تیمار شاهد بود. بیشترین میزان پرولین در تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر در دمای پیرولیز بیوچار ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. مشابه نتایج بدست آمده، جبارزاده و همکاران (۲۰) نیز گزارش کردند با افزایش شدت تنش شوری، میزان پرولین در برگ گیاه همیشه بهار افزایش یافت. به نظر می‌رسد با استفاده از بیوچار تولید شده در دماهای بالا می‌توان با افزایش میزان پرولین به عنوان اسمولیت سازگار، مقاومت گیاه همیشه بهار را در برابر تنش شوری بهبود بخشید. پرولین، یکی از رایج‌ترین ترکیبات محافظ اسمزی است که در تنش شوری تجمع می‌یابد (۴۱) افزایش تجمع پرولین در شرایط شوری را می‌توان به کاهش میزان پرولین اکسیداز نسبت داد که باعث تجزیه پرولین می‌گردد. همچنین افزایش در میزان ۵- کربوکسیلات سنتتاز که سنتز پرولین را افزایش می‌دهد، می‌تواند از دیگر دلایل افزایش میزان پرولین دانست. در این پژوهش با افزایش سطح شوری، میزان پروتئین برگ بطور معنی‌داری در کلیه تیمارهای دمایی پیرولیز بیوچار نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۴).

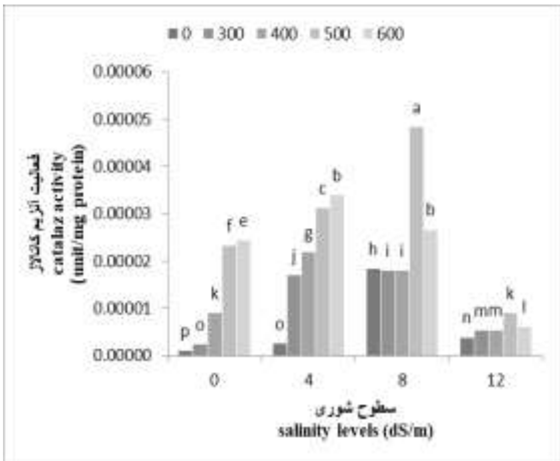


شکل ۴- تاثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز بر میزان پروتئین برگ گل همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری

Figure 4- The effect of biochar resulting from different pyrolysis temperatures on the protein content of marigold leaf under salt stress conditions (DMRT, $p \leq 0.05$).

کاهش مقدار پروتئین تحت تنش شوری می‌تواند به علت کاهش سنتز پروتئین یا به دلیل افزایش هیدرولیز آن باشد. همچنین تنش شوری با کاهش جذب یون‌های نیترات و یا آمونیوم، سبب کاهش ازت و در نهایت کاهش پروتئین‌ها در گیاه می‌شود (۴۱).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز به طور معنی‌دار تحت تاثیر اثرات ساده و برهمکنش شوری و دماهای مختلف پیرولیز قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش تنش شوری تا تیمار ۸ دسی‌زیمنس میزان فعالیت آنزیمی کاتالاز به طور محسوس افزایش یافت و این افزایش در فعالیت آنزیمی با افزایش دمای پیرولیز بیوچار افزایش نشان داد اما در تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر اگرچه میزان فعالیت آنزیمی نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد اما نسبت به سایر تیمارهای تنش کاهش محسوسی داشت و بین تیمارهای مختلف دمایی پیرولیز بیوچار نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۵).



شکل ۵- تاثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز بر فعالیت آنزیم کاتالاز برگ گل همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری

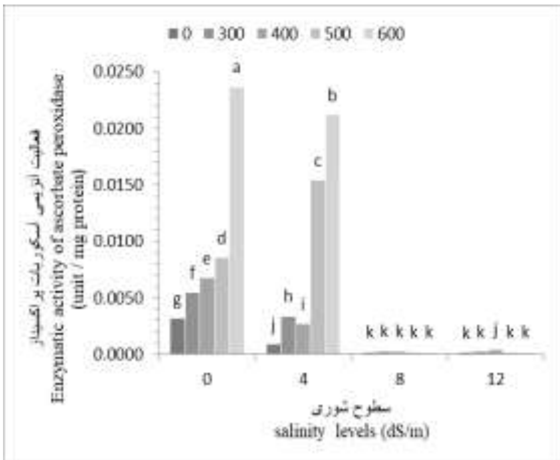
Figure 5- The effect of biochar resulting from different pyrolysis temperatures on the catalase activity of marigold leaf under salt stress conditions
(DMRT, $p \leq 0.05$)

همچنین فعالیت آنزیمی کاتالاز در تیمار عدم تنش و تنش پایین شوری با افزایش دمای پیرولیز روند افزایشی داشت. اما در تیمار تنش متوسط و شدید (۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) تا دمای ۵۰۰ درجه روند صعودی و سپس روند نزولی نشان داد (شکل ۵). در همین راستا، کلهر و همکاران (۲۲)، بنی اسدی و همکاران (۲) و حسینی فر و همکاران (۱۷) گزارش کردند میزان آنزیم کاتالاز در شرایط تنش در گیاه همیشه بهار افزایش یافت. کاتالاز یکی از مهمترین آنزیم‌های سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌باشد و از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و هنگامی وارد عمل می‌شود که مقدار ماده پراکسید هیدروژن در محیط زیاد باشد. به عبارتی تنش شوری موجب افزایش تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن شده و در نتیجه موجب افزایش فعالیت آنزیمی کاتالاز می‌گردد (۳۶).

آسکوربات پراکسیداز از ترکیبات کلیدی سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان عالی می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش شدت تنش شوری میزان فعالیت آنزیمی آسکوربات پراکسیداز کاهش یافت (شکل ۶).

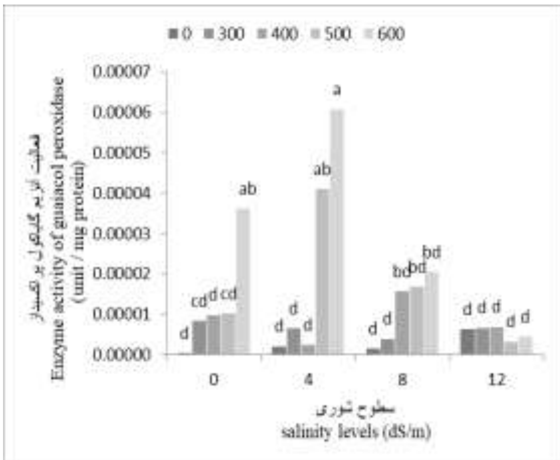
در تیمار تنش ۴ دسی‌زیمنس بر متر تنها در تیمارهای بیوچار تولید شده در دمای پیرولیز ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد گیاه توانست فعالیت آنزیمی خود را حفظ نماید و با افزایش شدیدتر در تنش شوری تقریبا فعالیت آنزیمی آسکوربات پراکسیداز به صفر رسید (شکل ۶). همان طور که در شکل ۷ ارائه شده است بیشترین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز مربوط به تیمار شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد پیرولیز بیوچار بود.

فعالیت این آنزیم با افزایش میزان شوری، افزایش یافت و افزایش دمای پیرولیز بیوچار تا تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تاثیر مثبت بر فعالیت این آنزیم داشت. وقتی گیاهان در معرض تنش‌های محیطی نامطلوب مختلف از جمله شوری قرار می‌گیرد تولید گونه‌های فعال اکسیژن به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند سبب آسیب سلول‌ها و اجزای سلولی شود. آنزیم‌هایی شامل سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز که با کاهش میزان H_2O_2 و تبدیل نمودن آن به آب، نقش اساسی در دفع مسمومیت گونه‌های فعال اکسیژن ایفا می‌نمایند (۳۳). در آزمایش حاضر با توجه به اینکه ماهیت بیوچار ماده‌ای با شوری بالا بوده است که با افزایش دما شدت شوری آن افزایش یافته است، اثرات منفی تنش شوری در تیمارها را شدت بخشیده است، در نتیجه سیستم آنزیمی آنتی اکسیدانی همیشه بهار تنها تا شوری‌های متوسط قادر به یاری گیاه در تحمل تنش شوری بود.



شکل ۶- تاثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ گل همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری

Figure 6- The effect of biochar resulting from different pyrolysis temperatures on the ascorbate peroxidase activity of marigold leaf under salt stress conditions (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۷- تاثیر بیوچار حاصل از دماهای مختلف پیرولیز بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز برگ گل همیشه بهار تحت شرایط تنش شوری

Figure 7- The effect of biochar resulting from different pyrolysis temperatures on the guaiacol peroxidase activity of marigold leaf under salt stress conditions (DMRT, $p \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج پژوهش حاضر شوری بیوچار یکی از خصوصیات نامطلوب آن می‌باشد که با افزایش دمای پیرولیز این ویژگی منفی شدت می‌یابد، لذا توصیه برای استفاده از بیوچار در خاک‌های شور به تنهایی و یا همراه با سایر مواد اصلاح کننده خاک نیازمند به مطالعات بیشتری می‌باشد. همچنین در صورت رفع مشکل شوری بیوچار، می‌توان از بیوچار تولید شده در دماهای بالای پیرولیز، جهت اصلاح خاک‌های اسیدی و یا برای ترسیب کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای و بیوچار حاصل از دماهای پایین پیرولیز را با توجه به چگالی ظاهری پایین آن، با هدف اصلاح بافت خاک، مصرف کرد. همچنین نتایج نشان داد استفاده از بیوچار در شرایط تنش شوری تاثیر مثبت قابل ملاحظه‌ای در تحمل تنش در گیاه همیشه بهار نداشت.

منابع

1. Afrasiabi B., Adhami E.B., and Owliaei H.R. 2017. Effect of biochar produced at different temperatures on cadmium availability in a calcareous soil under different moisture regimes over time. Journal Water and Soil 31: 811-821. (In Persian)
2. Bani Asadi F., Safari V., and Maghsoodi Moud A.A. 2015. The effect of putrescine and salinity on morphological,

biochemical and pigment properties of marigold (*Calendula officinalis* L.). Science and Technology of Greenhouse Cultivation 21: 133-125. (In Persian)

3. Bates L.S., Waldern R.P., and Tear I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil Science 39: 205-207.
4. Bayat H., Alirezaie M., and Neamati H. 2012. Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. Journal Stress Physiology and Biochemistry 8: 258-267.
5. Beheshti M., Alikhani H., Moteshare zade B., and Mohammadi L. 2016. Changes in the quality of biochar produced from cow manure during the slow pyrolysis process at different temperatures. Iranian Journal Soil and Water Research 47: 259-267. (In Persian)
6. Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.
7. Cely P., Gasco G., Paz-Ferreiro J., and Mendez A. 2015. Agronomic properties of biochar from different manure wastes. Journal Analytical and Applied Pyrolysis 111: 173–182
8. Chen y., Xie T., Liang Q., Liu M., Zhao M., Wang M., and Wang G. 2016. Effectiveness of lime and peat applications on cadmium availability in paddy soil under various moisture regimes. Environmental Science and Pollution Research 23: 7757-7766.
9. Das R., Mandal A.R., Priya A., Das S.P., and Kabiraj J. 2015. Evaluation of integrated nutrient management on the performance of bottle gourd (*Lagenaria siceraria* (Molina Standl)). Journal of Applied and Natural Science 7: 18–25.
10. Devi P., and Saroha A.K. 2013. Effect of temperature on biochar Properties during paper mill sludge pyrolysis. International Journal of ChemTech Research 5: 682-687.
11. Dume B., Berecha G., and Tulu S. 2015. Characterization of biochar produced at different temperatures and its effect on acidic nitosol of Jimma, Southwest Ethiopia. International Journal of Soil Science 10: 63-73.
12. Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Fahey D.W. Haywood J., Lean J., Lowe D.C., and Myhre G. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2, Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S. D. Qin M. Manning Z. Chen M. Marquis K. B. Averyt M. Tignor and H. L. Miller (Eds.)]. Cambridge University Press, pp. 129-234.
13. Glaser B., and Birk J.J. 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio), Geochimica Cosmochimica Acta 82: 39-51.
14. Gunes A., Inal A., Taskin M.B., Sahin O., Kaya E.C., and Atakol A. 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. Soil Use and Management 30: 182–188.
15. Haefele S.M., Konboon Y., Wongboon W., Amarante S., Maarifa A.A., and Pfeiffer E.M. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. Field Crops Research 121: 430-40.
16. Haluschak P. 2006. Laboratory methods of soil analysis. Canada -Manitoba Soil Survey. 3-133.
17. Hosseinifar N., Abdossi V., and Zarrinnia V. 2017. Effect of salicylic acid, potassium silicate fungal elicitor under conditions of salinity stress on calendula (*Calendula officinalis* L.). Journal Cellular and Molecular Biology 12: 59-68. (In Persian)
18. Hwang I., Ouchi Y., and Matsuto T. 2007. Deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. New Phytologist 125: 283-305.
19. Inal A., Gunes A., Sahin O., Taskin M.B., and Kaya E.C. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. Soil Use and Management 31: 106–113.
20. Jabbarzadeh M., Tehrani Far A., Amiri J., and Abedi B. 2016. Investigation of the protective role of nitric oxide in reducing the damage caused by salinity stress in *Calendula officinalis* L. cv. Gitan orange. The Journal of Horticultural Science 30: 185-191. (In Persian)
21. Kafi M.F., Nabati J., Zare Mehrjardi M., Goldani M., Khani Nejad S., Keshmiri A., and Nowruzia A. 2014. Evaluation of Improving Effects of Calcium and Potassium on the Physiological Properties of *Kochia scoparia* under Salinity Stress. Journal Environmental Stresses in Crop Sciences 5: 181-192. (In Persian)
22. Kalhor M., Dehestani Ardakani M., Shirmardi M., and Gholamnejad C. 2018. Response of Marigold (*Calendula officinalis* L.) to the interaction effects of salinity stress and soil-improving organic matter. Journal Environmental Stresses in Crop Sciences 11(4): 1005-1021. (In Persian)
23. Kalvatchev Z., Walder R., and Garzaro D. 1997. Anti-HIV activity of extracts from *Calendula officinalis* flowers. Biomedicine & Pharmacotherapy 51: 176-180.
24. Kaydan D., and Okut M.Y. 2007. Effect of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Tarim Bilimleri Dergisi 13: 114-119.
25. Khadem A., Chief F., and Besharati H. 2017. A review of the effects of biochar application on physical, chemical and biological properties of soil. Land Management 5: 13-29. (In Persian)

26. Kozminska A., Al Hassan M., Kumar D., Oprica L., Martinelli F., Grigore M.N., Vicente O., and Boscaiu M. 2017. Characterizing the effects of salt stress in *Calendula officinalis* L. Journal of Applied Botany and Food Quality 90: 323–329.
27. Laird D.A., Fleming P.D., Karlen D.L., Wang B., and Horton R. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma 158: 436–442.
28. Lal Arab M., Astarai A., and Lakzian A. 2015. Biochar effect on soybean growth characteristics and soil chemical properties, the first international conference and the fourth national conference on environmental and agricultural research in Iran. (Translate in Persian)
29. Lehmann J., and Joseph S. 2009. Biochar for environmental management. In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. 3rd Ed, London, Earthscan, 405 p.
30. Mary B., Recous S., Darwis D., and Robin D. 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. Plant and Soil 181: 71-82.
31. Masto R.E., Ansari M.A., George J., Selvi V.A., and Ram L.C. 2013. Co-application of biochar and lignite fly ash on soil nutrients and biological parameters at different crop growth stages of *Zea mays.* Ecological Engineering 58: 314–322.
32. Mengistu T., Gebrekidan H., Kibret K.W., Oldetsadik Shimelis K.B., and Yadav H. 2017. The integrated use of excreta-based vermicompost and inorganic NP fertilizer on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield, quality and soil fertility. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 6: 63–77.
33. Munns R., and Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Physiology 59: 651-681.
34. Najafi Qiri M. 2015. The effect of application of different biochar on some soil properties and the ability to absorb some nutrients in a calcareous soil. Journal of Soil Research (Soil and Water Science) 29: 351-358. (In Persian)
35. Nakano Y., and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22: 867-880.
36. Nasibi F., Manouchehri Kalantari Kh., Mahmoudinejad Q., and Zanganeh R. 2015. The effect of the amino acid arginine on some oxidative parameters and increased salinity tolerance in wheat. Journal of Plant Research 5: 1119-1128. (In Persian)
37. Nigussie A., Endalkachew K., Mastawesha M., and Gebermedihin A. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils, American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 12: 369–376.
38. Omidbeigi R. 2000. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Ghods Razavi Publications, Mashhad. (In Persian)
39. Parvaiz A, Satyawati S. 2008. Salt stress and phyto- blochemical responses of plants. Plant Soil Environment 54: 89-99. (In Persian)
40. Rezvani Moghaddam P., and Koochek A. 2001. Research history on salt affected lands of Iran: Present and future prospects – Halophytic ecosystem. International Symposium on Prospects of Saline Agriculture in the GCC countries, Dubai, UAE.
41. Shinogi Y., and Kanri Y. 2003. Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolytic products. Bioresource Technology 90(3): 241-247.
42. Singh B.P., Cowie A.L., and Smernik R.J. 2012. Biochar carbon stability in a clayey soil as a function of feedstock and pyrolysis temperature. Environmental Science & Technology 46(21): 11770-11778.
43. Song W., and Guo M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 94: 138-145.
44. Suppadit T., Phumkokrak N., and Poungsuk P. 2012. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* L. Merr.) production. Chilean Journal of Agricultural Research 72: 244-251.
45. Thangalazhy-Gopakumar S., Adhikari S., Ravindran H., Gupta R.B., Fasina O., Tu M., and Fernando S.D. 2010. Physiochemical properties of bio-oil produced at various temperatures from pine wood using an auger reactor. Bioresource Technology 101: 8389-8395.
46. Tsai W.T., Liu S.C., Chen H.R., Chang Y.M., and Tsai Y.L. 2012. Textural and chemical properties of swine-manure-derived biochar pertinent to its potential use as a soil amendment. Chemosphere 89: 198-203.
47. Uzoma K., Inoue M., Andry H., Fujimaki H., Zahoor A., and Nishihara E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use and Management 27: 205-212.
48. Vaccari F., Baronti S., Lugato E., Genesio L., Castaldi S., Fornasier F., and Miglietta F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. European Journal of Agronomy 34: 231-238.
49. Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chan K., Downie A., Rust J., Joseph S., and Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant and Soil 327: 235-246.
50. Yang H., and Sheng K. 2012. Characterization of biochar properties affected by different pyrolysis temperatures using visible near infrared spectroscopy, ISRN Spectroscopy. 1-7. 10.5402/2012/712837.

51. Zimmerman A.R., Gao B., and Ahn M.Y. 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar amended soils. Soil Biology and Biochemistry 43: 1169–1179.
52. Zolfi Bavariani M., Ronaghi A., Karimian N., Ghasemi R., and Yathribi C. 2016. The effect of biochar prepared from poultry manure at different temperatures on the chemical properties of a calcareous soil. Journal of Soil and Water Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 75: 73-86. (In Persian)

Journal of Horticultural Science
Vol. 35, No.4, Winter 2022, P. 591-604
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۶۰۴-۵۹۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Evaluation of the Effect of Biochar Obtained from Different Pyrolysis Temperatures on the Marigold Growth under Salt Stress

M. Shamsaddin Saied[1*]-M. Ramroudi[2]
Received: 05-01-2021
Accepted: 26-04-2021

Introduction: Biochar is a carbonaceous substance obtained from heating plant residues and wastes in an oxygen-containing medium with or without oxygen. Thermal decomposition of biomass in an oxygen-free medium is called thermophilicity (pyrolysis). Temperature is one of the factors influencing the characteristics of biochar. One of the objectives of this experiment is to investigate the effect of different temperatures on the biochar characteristics of cattle manure. The use of biochar as a soil conditioner and source of organic carbon in agricultural soils with minimal environmental damage is considered. Marigold is an annual plant that is used in industry and pharmacy in addition to food. Another aim of this experiment is to investigate the effect of biochar use from different temperatures on marigold under salinity stress.

Materials and Methods: For biochar preparation, after collecting cattle manure from Bardsir farms, air drying and sieving were used for pyrolysis process for four hours at different temperatures (300, 400, 500, 600 °C). Then pH, EC, carbon stability, ash and biochar performance were measured. In order to evaluate the effects of biochar resulting from different heat-treated temperatures on salinity tolerance of marigold, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in the greenhouse. The two factors studied included salinity levels (0, 4, 8 and 12 $dS.m^{-1}$) and biochar resulting from different thermocouple temperatures (0, 300, 400, 500 and 600 °C). The biochar rate was considered to be 20%. One month after salinity treatment, seedlings were evaluated for osmotic metabolites activity and growth characteristics of marigold seedlings.

Results and Discussion: The results of ANOVA showed that all biochar properties were significantly affected by temperature factor. With increasing the pyrolysis temperature from 300 to 600 °C, pH and EC increased by 16.29% and 60.37%, respectively, and the ash content increased by 1.5 folds, but biochar performance and bulk density decreased by 52.28% and 48.1%, respectively. The highest carbon stability was observed at 500 °C, which increased by 20% compared to 300 °C. The results showed a significant negative effect of salinity stress on stem height, number and area of marigold leaves, so that with increasing salinity to 12 $dS.m^{-1}$, 31.09, 17.28 and 45.7% decrease were observed in these traits, respectively. The physiological characteristics of marigold were significantly affected by the simple and interaction effects of salinity and biochar stress. In salinity treatments (0, 4, 8 and 12 $dS.m^{-1}$) with increasing pyrolysis temperature from 300 to 600 °C 2.2, 2.04, 1.97 and 1.92 folds increase in leaf potassium concentration and 1.54, 2.26, 3.00 and 2.45 folds less than the control treatment in the amount of leaf proline was observed, respectively. The activities of catalase, ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase enzymes were also significantly affected by the interaction of salinity stress and heat temperature. The highest enzyme activity in biochar was from 600 °C, which increased up to 8 $dS.m^{-1}$ for catalase and up to 4 $dS.m^{-1}$ for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase.

Conclusion: In general, biochar salinity is its most important undesirable properties, which increases with increasing pyrolysis temperature, so the recommendation of biochar application in saline soils requires further studies. In the present study, the use of biochar under salinity stress did not have a significant positive effect on the development of marigold resistance and salinity stress tolerance.

Keywords: Antioxidant enzymes, Potassium, Bulk density, Electrical conductivity

1- Assistant Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: mohadesehsaid2014@uk.ac.ir)
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
DOI: 10.22067/JHS.2021.67776.1005